UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1952-1953 — N° 56

Étude Radiologique du Cœur et des Gros Vaisseaux par la Tomographie axiale transversale

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

présentée et soutenue publiquement le 22 Décembre 1952

PAR

Michel GUILLON

Ex-externe des Hôpitaux
Diplômé de Médecine Coloniale
Elève du Service de Santé de la Marine

Né à NANTES (Loire-Inférieure), le 26 Décembre 1926

Examinateurs de la Thèse

MM. BROUSTET, Professeur ..... *Président*
FONTAN, Professeur ..... *Juges*
LACHAPÈLE, agrégé ..... *Juges*
LENG-LÉVY, agrégé ..... *Juges*

BORDEAUX
IMPRIMERIE RENÉ SAMIE
21-23, rue Teulère

1952

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1952-1953 — N° 56

Étude Radiologique du Cœur et des Gros Vaisseaux par la Tomographie axiale transversale

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

présentée et soutenue publiquement le 22 Décembre 1952

PAR

Michel GUILLON

Ex-externe des Hôpitaux
Diplômé de Médecine Coloniale
Elève du Service de Santé de la Marine

Travail du Service de Radiologie
des hôpitaux du groupe de Pellegrin le Tondu.
Chef de Service : Dr WANGERMEZ

et du Service de Cardiologie.
Chef de Service : Dr BROUSTET

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

DOYENS HONORAIRES : MM. DUPÉRIÉ, L. CHELLE
DOYEN M. G. PORTMANN. — **ASSESSEUR** : M. R. SIGALAS

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. A. MANDOUL, GUYOT, ANDÉRODIAS, ROCHER, LANDE, DUVERGEY, CARLES, LEURET, PÉRY, LABAT, CHARRIER, DUBREUIL, MACHEBŒUF, CRUCHET, DUPÉRIÉ, CHELLE.

PROFESSEURS

	MM.
Clinique médicale	CREYX.
id.	BROUSTET.
Clinique chirurgicale	PAPIN.
id.	MASSÉ.
Clinique d'accouchements	RIVIÈRE.
Clinique gynécologique	MAGENDIE.
Anatomie pathologique et microscopie clinique	DE GRAILLY.
Anatomie	DUFOUR.
Anatomie générale et histologie	MAYER.
Hygiène et clinique de la tuberculose.	PIÉCHAUD.
Médecine légale et Médecine du travail	DERVILLÉE.
Electroradiologie et clinique d'électricité médicale	REBOUL.
Chimie	MESNARD
Matière médicale	GOLSE.
Pharmacie	VITTE.
Physiologie	FABRE.
Clinique médicale des maladies des enfants	FONTAN.
Zoologie et parasitologie	SIGALAS.

	MM.
Pathologie générale et expérimentale	SARIC.
Clinique ophtalmologique	BEAUVIEUX.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	POUYANNE
Clinique des maladies infectieuses	AUBERTIN
Chimie biologique et médicale	TAYEAU
Physique médicale et pharmaceutique	PIFFAULT.
Médecine coloniale et Clinique des maladies exotiques	BONNIN.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	JOULIA.
Clinique des maladies des voies urinaires	DARGET.
Clinique des maladies nerveuses et mentales	DELMAS-MARSALET
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	PORTMANN.
Toxicologie et hygiène appliquée	CASTAGNOU
Clinique odonto-stomatologique	DUBECQ
Botanique et cryptogamie	GIRARD.
Thérapeutique	

PROFESSEURS SANS CHAIRE :

MM. PERRENS (Maladies mentales), BLANQUET (Physique pharmaceutique).

MAITRES DE CONFÉRENCES AGRÉGÉS

	MM.
Parasitologie	PAUTRIZEL.
Physiologie	Mlle ROUGIER.
Bactériologie	MOUSTARDIER.

	MM.
Pharmacie (1re Section)	R. GOLSE.
Pharmacie (2e Section)	MASQUELIER
Pharmacie (3e Section)	CAZAUX.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

	MM.
Médecine générale	
id.	DUBARRY.
id.	F.-J. TRAISSAC.
id.	BERGOUIGNAN.
id.	LENG-LÉVY.
Chirurgie générale	
id.	LAUMONIER.
id.	CHAVANNAZ.
Obstétrique	MAHON.
id.	CHASTRUSSE.

	MM.
Ophtalmologie	BESSIÈRE.
Oto-rhino-laryngologie	DESPONS.
Dermatologie et syphiligraphie	LE COULANT.
Histologie	
Pédiatrie et puériculture	VERGER.
Médecine légale et médecine du travail	L'ÉPÉE.
Electro-radiologie	LACHAPÈLE.
Odonto-stomatologie	
Urologie	LANGE.

COURS COMPLÉMENTAIRES

	MM.
Médecine opératoire	LAUMONIER.
Accouchements	PERY
Puériculture	VERGER.
Législation pharmaceutique	POPLAWSKI.
id.	COUSTOU.
Anatomie	RIGAUD.
Chimie générale et analytique	BABIN.
Cryptogamie	LAUBIE.

	MM.
Pharmacie galénique	
Organographie et physiologie végétale	TEMPÈRE.
Chimie biologique	NEUZIL.
Pathologie chirurgicale	
id.	VILLAR.
Zoologie pharmaceutique	BAILANGER.
Hydrologie pharmaceutique	CAZAUX.

Le Secrétaire de la Faculté : ROUGERIE.

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

A MES PARENTS

En témoignage de ma reconnaissance et de ma filiale affection.

A MA FEMME ET A MON FILS

Avec ma très grande affetcion.

MEIS ET AMICIS

A NOS MAITRES DANS LES HOPITAUX

A Monsieur le Docteur WANGERMEZ

Ancien Professeur à la Faculté de Médecine
Ancien Sous-Directeur du Centre anti-cancéreux
Electro-Radiologiste des Hopitaux
Officier d'Académie

Nous lui devons notre formation radiologique ; qu'il trouve ici un modeste témoignage de notre reconnaissance.

A Monsieur le Médecin-Général de 2e classe GALIACY

Directeur de l'Ecole Principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes Coloniales
Commandeur de la Légion d'Honneur
Croix de Guerre
Médaille de la Résistance

A Monsieur le Médecin en chef de 1re classe SIMON

Sous-Directeur de l'Ecole Principale du Service de Santé
de la Marine et des Colonies
Médecin des Hôpitaux de la Marine
Officier de la Légion d'Honneur
Officier d'Académie
Médaille d'Argent de l'Education Physique

A NOTRE JURY DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR FONTAN

Professeur de clinique médicale infantile
Médecin des hôpitaux
Officier de l'Instruction publique

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LACHAPÈLE

Electro-radiologiste des hôpitaux
Directeur du Centre anti-cancéreux
Membre de la Commission du Cancer
Chevalier de la Légion d'honneur
Croix de guerre
Officier d'Académie

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LENG-LÉVY

Médecin des hôpitaux
Chevalier de la Légion d'honneur
Croix de guerre
Officier de l'Ordre de la Libération
King's Medal for courage in the cause of Freedom

A NOTRE MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

Monsieur le Professeur BROUSTET

Professeur de clinique médicale
Médecin des hôpitaux
Officier de l'Instruction publique

Après nous avoir donné l'idée de ce travail, il nous a sans cesse aidé de ses conseils toujours bienveillants.

Qu'il trouve ici l'expression de notre admiration respectueuse.

INTRODUCTION

Au cours de cette année, nous avons pu, dans le service de notre maître, le Docteur WANGERMEZ, utiliser un radiotome.

Intéressé par les travaux de FRAIN et LACROIX et les publications de l'école génoise, nous nous sommes, essentiellement attachés à l'étude du cœur et des gros vaisseaux par la tomographie axiale transversale. Celle-ci avait déjà été esquissée par quelques auteurs, parmi lesquels FRAIN et principalement SANQUIRICO ; mais ces auteurs avaient surtout insisté sur la morphologie du cœur, étudiant ses diamètres, dans les plans horizontaux successifs, ses courbures, etc.

Tout en reprenant ces notions, nous avons cherché à les préciser, en étudiant les cavités cardiaques, en recherchant l'indice de développement du ventricule gauche et surtout en essayant d'apporter un élément quantitatif : le volume cardiaque. Après avoir rappelé l'intérêt que représente cette donnée nouvelle, en cardiologie, nous parlerons de la méthode que nous utilisons pour le calculer : la tomographie axiale transversale. Nous démontrerons qu'elle seule peut permettre ce calcul et que, théoriquement, il est obligatoirement juste. Nous montrerons que l'expérience prouve la possibilité de ce calcul. Nous étudierons le volume cardiaque normal en soulignant les difficultés qu'il faut surmonter, pour arriver à un résultat aussi exact que possible, et ferons une étude volumétrique de quelques cœurs pathologiques.

Enfin, nous verrons quels renseignements peuvent donner les coupes horizontales pour l'examen des gros vaisseaux de la base : aorte, artère pulmonaire, veines pulmonaires.

Mais avant d'aborder cette étude, il nous faut nous acquitter d'un devoir bien agréable, celui de remercier tous ceux qui nous ont aidé dans l'élaboration de ce travail :

— M. le Professeur BROUSTET qui, après nous avoir inspiré l'idée de cette thèse, nous a constamment aidé avec bienveillance et a dirigé notre travail.

— Notre chef de service à l'hôpital du Tondu, le Docteur WANGERMEZ qui nous a conseillé et nous a fait bénéficier de sa grande expérience en radiologie.

— M. le Professeur agrégé RIGAUD qui nous a préparé le travail de confrontation anatomo-tomographique, et nous a dispensé ses conseils et son temps.

— Les Docteurs P.-L. MARTIN et DUHAMEL, qui ont bien voulu travailler amicalement avec nous, nous faisant ainsi profiter de leur grande expérience en tomographie.

— M. BRICAUD, interne du service de cardiologie, qui nous a considérablement aidé pour l'étude du volume du cœur.

— Le personnel des services de radiologie et de cardiologie.

CHAPITRE PREMIER

INTÉRÊT DE LA TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSALE EN CARDIOLOGIE : VOLUME DU CŒUR

Il y a déjà plus d'un demi-siècle que l'on étudie la morphologie du cœur à la radio et la radiologie cardio-vasculaire occupe aujourd'hui une place de tout premier ordre dans le radio-diagnostic viscéral.

L'examen radiologique de tout cardiaque ou de tout sujet soupçonné de troubles cardiaques, est en effet actuellement indispensable pour venir compléter les données des examens cliniques et électrocardiographiques. Deux méthodes s'offraient jusqu'alors au cardiologue : l'orthodiagraphie dont les résultats sont fonction de l'habileté et de l'expérience de l'expérimentateur ou la téléradiographie du cœur (ampoule à 2 m. 50).

Certains auteurs tant français : BOUCHARD et BALTHAZARD, GUILLEMINOT et CHÉRON, qu'étrangers : MORITZ, DIETLEN et GRODEL (Allemagne), CLAYTOR et MERRIL, HODGES et EYSTER (U.S.A.) avaient tenté d'exprimer en centimètres carrés l'aire de projection du cœur ; récemment UNGER-LEIDER et GUBRER (U.S.A.) ont tenté d'établir des tables où intervenaient âge, poids, taille, sexe dont l'inconvénient majeur est l'imprécision et l'arbitraire. R.-R. MEYER , en 1949, donnait une formule permettant, selon l'auteur, d'évaluer la surface de projection de l'aire cardiaque :

$$A = \alpha \times s \times 0{,}676$$

où A représente la surface de projection,

α : le grand diamètre,

s : le petit diamètre.

Les résultats que l'on obtient par ces divers procédés, sont fort peu précis et plus ou moins éloignés de la réalité.

D'autres auteurs tentèrent d'obtenir des précisions sur les contours cardiaques dans l'espace. C'est ainsi que PALMIERI inventa la « radiosculpture » et tenta de l'appliquer à l'étude du cœur, de façon à obtenir une représentation spatiale de cet organe. Le procédé est simpliste : on fait une téléradiographie du cœur, on découpe son contour et on le suit avec un fil, ayant pour point d'attache le point F (représentant le foyer radiogène). Dans ses déplacements, le fil sculpte un bloc de pâte molle, et l'on obtient ainsi un contour de l'organe dans l'espace. Si l'on prend plusieurs clichés sous diverses incidences, on pourra obtenir une forme plus complète.

En dehors de la radiosculpture de nombreux travaux furent tentés afin d'apporter, en explorant radiologiquement la troisième dimension de l'espace, des détails sur la morphologie cardiaque.

La stéréométrie, la stéréo-orthodiagraphie (1926), la stéréo-autographie de THIEL (1937), la technique de HASSELWANDER (1940), les études de MALVOISIN (1942) sont faites en ce sens.

Cependant, en dépit de toutes ces tentatives, on devait se contenter d'apprécier le degré d'une hypertrophie, ou d'une dilatation cardiaque, par l'orthodiagramme ou la téléradiographie mesurant les divers diamètres du cœur, étudiés par BORDET et VAQUEZ, compte tenu des corrections apportées par SEGERS :

Longitudinal	DG' # 13 cm. 5
Basal	D'G' # 10 cm.
Ventriculaire gauche	GG' # 7 cm. 5
Auriculaire droit	DD'

et surtout transversal HH', indépendant de la forme du cœur sur le cliché ou sur le calque dont la valeur doit être inférieure à la moitié du diamètre thoracique.

On étudiait encore l'angle de disparition de la pointe.

Les diverses tomographies du cœur, permettaient d'obtenir d'intéressantes précisions sur la morphologie cardiaque et de fixer, dans une certaine mesure, le siège d'une image par rapport à la paroi antérieure ou postérieure à la colonne vertébrale ; mais, comme nous le verrons plus loin, le calcul du volume cardiaque par cette méthode est impossible, et ce, que le balayage soit linéaire ou circulaire.

La possibilité de calculer le volume du cœur par la tomographie axiale transversale, constitue donc un grand progrès en cardiologie, et celle-ci, en même temps qu'elle fournit les bases du calcul du volume cardiaque, permet d'apprécier dans un plan horizontal les contours exacts de la masse cardiaque, leur morphologie, les rapports du cœur avec la paroi thoracique et les organes de voisinage. Elle permettra de préciser la participation d'une ou des différentes cavités cardiaques dans une hypertrophie constatée cliniquement, radiologiquement ou électrocardiographiquement : dilatation de l'oreillette gauche, hypertrophie ventriculaire droite ou gauche, dilatation droite, dilatation globale. Au cours de très nombreuses maladies du cœur, l'étude du volume cardiaque présente un intérêt considérable : en particulier lors des défaillances plus ou moins passagères du cœur, telles que la cardite de la maladie de Bouillaud, les endocardites infectieuses aiguës et subaiguës. Il en est de même au cours des fibrillations et du flutter et aussi des cardiopathies congénitales, où l'étude du volume est un élément de diagnostic et de pronostic (tout accroissement notable du volume cardiaque conduirait à porter un pronostic défavorable). Dans les cas d'asystolie, la connaissance du volume du cœur est une donnée supplémentaire de très grande importance. Par ailleurs, l'étude de la confrontation des données électrocardiographiques et tomographiques doit apporter de précieux renseignements.

Ainsi la tomographie axiale trouve-t-elle sa place en cardiologie et rendant possible le calcul du volume du cœur, elle permet de préciser et d'approfondir un diagnostic, d'étudier le pronostic et de suivre l'action d'une thérapeutique par le contrôle volumétrique de ses effets.

CHAPITRE II

LA TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSALE

DÉFINITION

On donne le nom de « tomographie axiale transversale », aux méthodes permettant d'obtenir des coupes dans un plan perpendiculaire à l'axe vertical du sujet.

HISTORIQUE

Le principe de l'étude radiologique de la troisième dimension de l'espace, fut énoncé, pour la première fois, par KIEFFER de Norwich, en 1929, qui imagina le premier dispositif susceptible de donner des coupes horizontales du corps humain.

Il pensait qu'il suffisait pour cela de modifier le porte-cassette d'un tomographe à balayage vertical, de façon à pouvoir garder le film horizontal, le tube et le film se déplaçant en sens inverse soit verticalement, soit horizontalement.

En 1938, ce même auteur reprend son idée d'effacement unidirectionnel, mais ne publie rien sur ses applications pratiques.

DE VULPIAN, récemment, a étudié le même principe qui, bien que rigoureux en théorie, se révèle irréalisable en pratique, comme l'ont montré DUHAMEL et P.-L. MARTIN.

WATSON, juste avant la guerre, en 1939, met au point un dispositif qui fut breveté et essayé pendant la guerre, en 1942-1943.

L'année suivante, AMISANO propose une technique de stratigraphie transverse, par projection longitudinale, et s'attache, de 1944 à 1946, à perfectionner sa méthode : malade assis, ampoule inclinée de 30 à 40° et dirigée de haut en bas.

Les études expérimentales, sur ce sujet, furent donc longues et difficiles, et c'est à FRAIN et LACROIX (Paris, janvier 1947) et à VALLEBONA et son école (Gênes, mars 1947) que revient le mérite d'avoir conçu et réalisé un appareillage permettant d'obtenir des coupes horizontales du corps humain.

Depuis cette date, ces auteurs se sont attachés à perfectionner la méthode que VALLEBONA considère comme une nouvelle technique tomographique ; d'autres, se sont intéressés à la question, mais dans l'ensemble les publications et travaux sur ce sujet sont restés relativement peu nombreux ; citons parmi les plus importantes :

Les études de FRAIN et LACROIX, la thèse de LACROIX en France.

Celles de VALLEBONA, au VII^e Congrès des médecins électro-radiologistes de langue française, soulignant l'intérêt des coupes horizontales, dans la localisation précise des cavernes, l'étude des kystes et des tumeurs du poumon.

Celle de BUZZI, au cours du même congrès, consacrée au médiastin ; et de SANQUIRICO, relative à l'appareil cardio-vasculaire, dans laquelle il étudie l'aspect du cœur en coupes horizontales, au cours de diverses affections valvulaires, quelques malformations congénitales et l'aorte. Etude intéressante mais trop sommaire.

Enfin celle de SANSONE, MACARINI et OLIVA consacrée à l'examen d'un viscère plein, d'exploration radiologique complexe, le pancréas, après pneumo-rétro-péritoine.

Des deux causes majeures explicatives du nombre relativement restreint d'études sur la tomographie axiale transversale, méthode, qui n'en est encore qu'à ses débuts ; l'une d'elles est en voie de disparition, depuis que MASSIOT construit son radiotome, selon les données de FRAIN et

ZUDER, son appareil, selon celles de l'école génoise, et que la fabrication artisanale de radiotome s'intensifie.

D'autre cause : la difficulté d'interprétation des clichés, va également en s'atténuant. Les coupes horizontales, nous obligent en effet à reprendre l'étude des coupes anatomiques, et il est nécessaire que se multiplient les études expérimentales sur le cadavre, avec confrontation anatomo-tomographique, pour que l'on puisse donner une interprétation correcte et fidèle des coupes horizontales. Sachant bien qu'il existe parfois sur les clichés des images parasites, venant encore accroître les difficultés d'interprétation.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Il s'agit d'une radiographie où le faisceau de rayons X aborde le film, en incidence rasante. L'angle de rasance, ayant été choisi pour l'appareil que nous avons utilisé égal à 22°.

Le sujet et le film sont animés d'un mouvement de rotation, circulaire, synchrone et de même sens, tournant ainsi autour de deux axes verticaux et parallèles, et décrivant ainsi 360° ou N fois 360°, d'où balayage de tout le contour des éléments du plan de coupe. L'ampoule est fixe, le foyer étant à 61 centimètres au-dessus du plan du film.

Certains auteurs utilisent, comme éléments mobiles, l'ampoule et le film (LACROIX).

Un système optique permet de définir la direction du rayon central, qui doit se trouver dans le plan vertical, déterminé par les deux axes de rotation du sujet et du film, axé sur le centre de rotation du film.

C'est là un problème de centrage, de très grande importance, dont est fonction la netteté des coupes, tout écart dans l'alignement du foyer avec les axes de rotation ayant pour conséquence un flou d'autant plus grand que l'écart l'est davantage. Des dispositifs de centrage avec écran radioscopique sont à l'étude.

On vérifie le centrage, en radiographiant une barre métallique placée dans l'axe de rotation du sujet ; l'image de coupe doit être nette et sans halo.

Le centrage étant réalisé, le plan géométrique fixe du sujet est formé par un plan parallèle au film et situé à l'intersection de l'axe de rotation du sujet, avec le rayon central.

Si nous considérons un point A, du sujet, et un rayon secondaire F*a* qui pénètre le sujet en ce point A du plan H, on voit qu'au cours de la rotation, quand le point A décrira dans le plan H, la courbe C, de centre O sa projection *a* sur le film, décrira la courbe *c* de centre o.

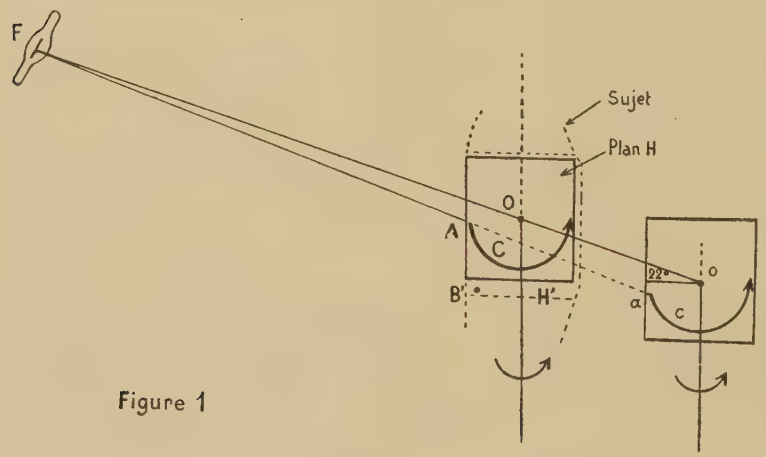

Figure 1

Le mouvement étant synchrone et de même sens, l'ombre du point A, se projettera toujours en un même point du film. Elle sera nette. Il en est de même pour tous les points appartenant au plan H.

Considérons un point B', du plan H', adjacent au plan H, celui-ci au cours de la rotation décrit comme le point A, la circonférence de centre O, mais du fait de l'obliquité du rayonnement sa projection *b* sur le film décrira la courbe *c*" de centre o", et le déplacement de la projection d'un point de ces plans, n'est pas homothétique au déplacement du film. Dans ces conditions, tous les points des plans sus ou sous-jacents, seront flous ou effacés.

Le rayon de courbure de la projection d'un point, hors du plan de coupe, étant d'autant plus rapidement croissant, que le plan du point considéré est plus éloigné du plan coupe et que l'angle de rasance est plus grand, d'où floutage.

En résumé, on obtient sur le film une image nette du plan homothétique à ce film par rapport au foyer du tube. Le rapport d'homothétie étant égal au rapport des distances FO-FO', O et O' étant respectivement les axes de rotation du sujet et du film.

Appareillage utilisé : radiotome.

L'appareil que nous avons utilisé est le radiotome du service d'électro-radiologie des hôpitaux du groupe Pellegrin-Le Tondu du Docteur WANGERMEZ.

Le dispositif tomographique consiste essentiellement en deux axes de rotation parallèles supportant l'un une sellette, l'autre un plateau.

L'ampoule est fixe, le foyer étant situé à 1 m. 77 de l'axe de rotation du film, ce qui nécessite de puissants générateurs.

Certains auteurs comme LACROIX ont réalisé le système sujet-fixe, ampoule mobile, qui a l'inconvénient d'être encombrant (balayage de 9 mètres carrés, avec l'appareil de LACROIX) et moins facilement maniable, mais permet en revanche, l'examen de malades fatigués.

Le sujet est placé en position verticale, assis sur la selle, les pieds reposant sur un plateau, le dos appuyé contre deux tiges métalliques formant dossier, la tête maintenue fixe par une sangle. Les bras, plus ou moins verticaux, les mains venant s'attacher sur deux tiges perpendiculaires au dossier.

A 50 centimètres du sujet, en arrière de lui le plateau porte-film, horizontal. Cette distance : axe de rotation du sujet, axe de rotation du film est fixe, elle est variable dans certains appareils.

Le plan du plateau porte-film est à 61 centimètres au-dessous du foyer.

La rotation sujet-film, synchrone et de même sens, est assurée par un moteur électrique d'un quart de cheval-vapeur, elle peut s'effectuer à des vitesses différentes :

— Soit 1 tour en 3 secondes 4 ;
Soit 1 tour en 2 secondes 8 ;
Soit 1 tour en 1 seconde 8.

Dans les trois cas, le temps de pose, doit être calculé pour que, pendant la prise du cliché, le sujet et le film fassent un tour complet ou N fois 360°.

Le plateau porte-film, tout comme la sellette porte-sujet présentent des dispositifs de réglage en hauteur : vis filetée, actionnée par un volant.

Diverses modifications seront sans doute apportées à cet appareil, qui présente certains inconvénients.

Les uns sont de second ordre : sellette trop petite, commande plus pratique du moteur électrique, assurant la rotation (modification que nous avons faite).

D'autres sont plus importants : c'est ainsi qu'il serait avantageux de substituer aux colonnes métalliques formant dossier, un dossier complet, plus confortable, en matière non opaque aux rayons X, comme le plexiglass ; on éviterait ainsi certains sillages.

De même, les dispositifs de réglage en hauteur du siège porte-sujet et du porte-film devraient être plus précis ; des vis micrométriques remplaceraient avantageusement les volants.

Néanmoins, nous avons pu, avec cet appareil faire une étude du cœur et des gros vaisseaux de la base, et les résultats des coupes obtenues viennent compléter heureusement les renseignements fournis par les méthodes radiologiques classiques (radiographies standard et sous diverses incidences) (tomographies longitudinales, latérales) et cardiologiques (examen clinique, électrocardiogramme, cathétérisme, explorations biologiques...).

CONDITIONS TECHNIQUES

Le centrage ayant été réalisé et vérifié : radiographie en coupe d'une tige métallique placée dans l'axe de rotation du sujet. L'image de section, doit être nette et sans halo.

Il convient de fixer le plan de coupe. Le centreur lumineux du tube, matérialisant le faisceau de radiations X, permet à première vue de localiser le plan de coupe. Un dispositif de visée (alidade) l'indique avec plus de précision. Celui-ci est déterminé par l'intersection du rayon central, allant du foyer au centre de rotation du film, avec l'axe vertical de rotation du sujet.

Pour notre part, nous pratiquons toujours un examen radioscopique préliminaire, au cours duquel nous marquons sur la peau, au crayon dermographique, les points entre lesquels seront effectuées les coupes à distance constante les unes des autres. Nous mesurons la hauteur cardiaque en scopie, en inspiration et repérons la position du diaphragme lors du même temps respiratoire.

L'étalonnage des coupes est, en effet, essentiel pour l'étude du cœur et des gros vaisseaux en tomographie axiale. Certains auteurs se repèrent à l'aide des vertèbres ; nous l'avons fait chaque fois que cela était facile.

FRAIN et LACROIX utilisent une échelle de fils de plomb collée sur la peau avec un sparadrap, dont le schéma est le suivant :

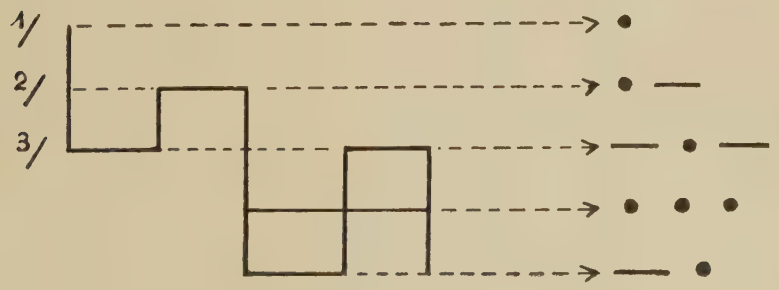

Figure 2

Gernez-Rieux et Bonte utilisent le système suivant : deux fils de plomb verticaux, l'un mince, l'autre épais, unis par un troisième fil oblique. Il suffit de mesurer la distance entre le point central et les points latéraux pour savoir où l'on se trouve.

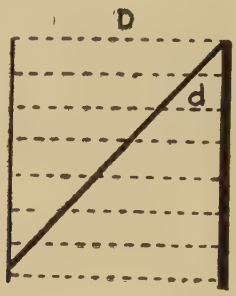

Figure 3

Ces dispositifs sont très intéressants, mais susceptibles, dans certaines conditions, de donner des traînées, résultants de l'effacement des parties de fil adjacentes.

Le passage d'un plan de coupe à un autre est un saut brusque obtenu en modifiant la hauteur du siège porte-sujet par un volant ; la course de ce siège est de l'ordre de vingt centimètres,

Il est difficile, avec le système de volant, même après pose de repères le divisant en quadrants, eux-mêmes subdivisés, d'effectuer sans risque d'erreurs des coupes à moins de 5 millimètres les unes des autres.

Notons qu'il est essentiel que le sujet soit bien placé, assis sur le centre de la sellette, ni trop en avant, ni trop en arrière de l'axe de rotation ; à moins que l'on veuille étudier spécialement une région ou une cavité cardiaque ; en ce cas, les images les plus nettes et les meilleures étant celles des objets qui sont dans l'axe de rotation. C'est la région à étudier qu'il faut placer dans l'axe.

Toujours dans le but d'obtenir de bonnes images, il faudra diaphragmer au maximum, ce qui limite la diffusion. Certains auteurs (école de Gênes) utilisent l'antidiffuseur

de Lysholm, immobile entre sujet et film. Nous l'avons utilisé avec des résultats non supérieurs à ceux obtenus sans grille.

Nous employons des films rapides qui nous paraissent plus avantageux que les standards.

Enfin, avant de prendre le cliché, il convient d'attendre que le mouvement, toujours brusque et un peu saccadé au départ, soit devenu continu. On évite ainsi la présence d'images « stationnaires » dont le grand nombre ou l'importance extrême, devra amener à vérifier l'état de tension des courroies de transmission.

Chapitre III

AVANTAGES DE LA TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSALE SUR LES AUTRES MÉTHODES TOMOGRAPHIQUES, EN PARTICULIER POUR L'ÉTUDE DU CŒUR

La tomographie axiale transversale permet d'obtenir des coupes horizontales du corps humain. Un simple report à un traité d'anatomie où les coupes horizontales définissant nettement les rapports des organes entre eux, avec les parois, sont les coupes de choix, permet de bien comprendre l'intérêt de cette méthode tomographique. Or, ces « coupes axiales » présentent des qualités que n'ont pas les coupes tomographiques habituelles et ne présentent pas, du fait des conditions de technique, les inconvénients de celles-ci. Les images des coupes horizontales semblent libérées au maximum des causes d'erreur.

La stratigraphie axiale transversale donne, en effet, des images superposables à celles des sections anatomiques elles-mêmes, compte tenu du rapport d'agrandissement.

Tout corps opaque aux rayons X donne lieu à la formation d'un cône d'ombre ayant pour sommet le foyer radiogène et pour base l'image radiographique elle-même, et d'un cône de pénombre fonction des dimensions du foyer.

Il en résulte pour tout objet radiographié (à moins que le tube à rayons X soit très éloigné : 2 m. 50, car en ce cas on peut admettre que les rayons arrivant sur l'objet sont presque parallèles) un agrandissement. En tomographie

axiale, le rapport d'agrandissement est facile à connaître puisque les surfaces sont homothétiques, et on peut écrire :

$$A = \frac{h}{h-e} = \frac{l}{l-d} = \frac{SF}{sF}$$

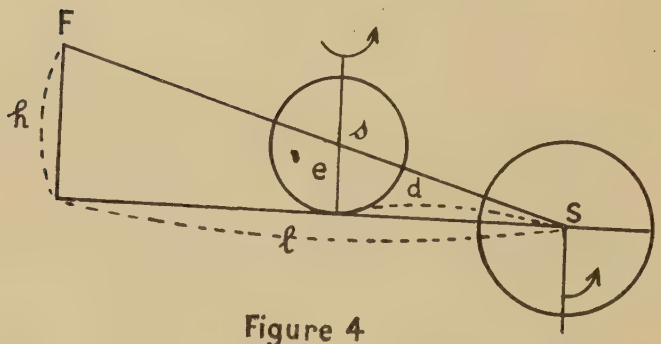

Figure 4

L'agrandissement linéaire est de 1,4.

Dans ces conditions, pour une surface, le rapport d'agrandissement sera de $1,4^2$, soit 1,96. C'est ce chiffre que nous avons trouvé expérimentalement, en tomographiant un prisme de surface et de hauteur connues. Cette même expérience nous a permis de vérifier l'absence de déformations.

En stratigraphie classique, les cônes d'ombres et de pénombres sont mobiles et leur forme varie suivant les déplacements du tube radiogène. Aussi aperçoit-on sur ces clichés, correspondant au plan d'une coupe, la présence d'ombres portées indépendantes du plan de coupe considéré, mais relevant des plans adjacents.

« Tout se passe comme si l'objet étudié subissait un étirement » (MARCHAND).

Les points hors du plan P ont, sur le film, une image rectiligne d'autant plus marquée qu'ils sont plus opaques. On conçoit les difficultés et les risques d'erreur lorsqu'il s'agit d'évaluer les dimensions d'une image ou de la localiser.

En tomographie axiale, transversale, les rayons arrivent rasants sur le film ; cette obliquité fait que l'image d'un

point en dehors du plan de coupe est rejetée en deçà ou au delà du film ; il y a donc floutage des ombres parasites, qui ne marquent pas ou très peu leur trace. De plus, la trajectoire du foyer par rapport au film est un cercle parallèle à ce dernier. Il en résulte que les causes de déformation sont limitées au maximum, puisqu'il n'y a pas de direction privilégiée pour une déformation ; la trajectoire étant un cercle, il se fait un balayage de tout le contour du cœur et ce grand balayage élimine les cônes d'ombre.

En tomographie axiale, l'angle de coupe est grand, donc l'effacement est bien meilleur que dans les autres procédés tomographiques.

Si l'angle de coupe était aussi grand en tomographie verticale, le volume cardiaque serait aussi facile à étudier par une méthode que par l'autre, car la trace serait aussi peu visible et la coupe ne serait pas noyée dans le résidu. Pour un volume homogène comme le cœur, on démontre (DUHAMEL) que plus l'angle de coupe est grand, plus le noyau est petit et confondu avec la coupe.

Alors que sur les coupes horizontales le noyau, très petit, a la même forme que la coupe et se confond avec elle, en tomographie verticale le noyau est beaucoup plus grand.

Enfin, alors qu'en tomographie verticale classique les couches de coupes sont épaisses (à 11 centimètres on voit encore assez souvent l'image du gril costal), en tomographie axiale transversale les coupes sont extrêmement fines. FRAIN et LACROIX, à l'aide de deux expériences fort simples, montrent bien la minime épaisseur de la « couche de coupe ».

Dans la première, ils font une série de coupes millimétriques, d'une série de tubes d'essai maintenus verticaux dans leur support et remplis de poudre de zinc. Le niveau du produit opaque est différent pour chaque tube de deux millimètres. La première coupe donne un seul anneau, celui de la coupe du niveau de poudre de zinc le plus élevé ; la seconde effectuée un millimètre plus bas, donne la même image, mais la troisième montre deux anneaux et toutes les deux coupes apparaît un nouvel anneau, image de la section du niveau de poudre opaque dans le tube suivant.

La deuxième expérience consiste à effectuer une seule coupe de vertèbre, après avoir placé deux films dans la même cassette, séparés par un feutre de 3 millimètres ; on observe deux images bien différentes. Ceci permet d'établir que l'épaisseur des coupes est de l'ordre du millimètre.

Le calcul de l'épaisseur de couche :

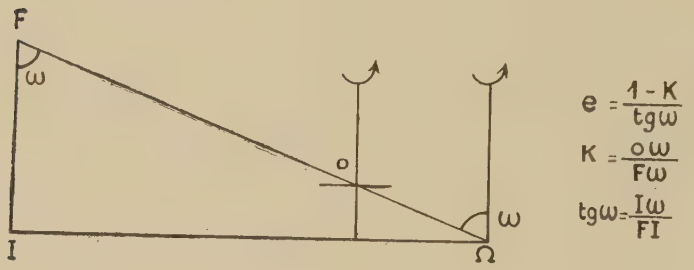

Figure 5

montre que cette épaisseur est de 2,8/10 mm. ; cette minime épaisseur des coupes est fonction de l'angle d'inclinaison du rayon central sur le plan du film, autrement dit plus l'angle de rasance est faible, plus les coupes seront fines. Elle est également fonction de la grandeur du rapport :

$$\frac{\text{distance objet film}}{\text{distance ampoule objet.}}$$

Plus la distance ampoule objet sera grande, plus les coupes seront fines. Avec notre appareillage, ce rapport est de 0,37, soit un peu supérieur au tiers ; pour les coupes longitudinales, par exemple, ce rapport est très petit, de l'ordre de 1/12 à 1/15.

Enfin, la longueur du déplacement est encore un facteur de finesse, et alors qu'en tomographie longitudinale la course est très limitée, en tomographie axiale le déplacement est une circonférence complète. Ainsi, la tomographie axiale transversale donne des images libérées au maximum des causes d'erreur, représentant fidèlement la réalité,

à ceci près qu'elles sont agrandies par rapport à l'image réelle, dans une proportion connue.

Ces coupes sont très fines ; ce sont des coupes horizontales : coupes idéales pour étude de la morphologie, des rapports d'un organe comme le cœur. Le relevé des surfaces de section cardiaques sur le cliché est aisé.

La tomographie axiale transversale est donc extrêmement intéressante pour l'étude du cœur et des gros vaisseaux, en ce sens qu'elle seule permet d'apporter des éléments quantitatifs. Elle ne vise pas à remplacer les autres tomographies, mais vient compléter heureusement les résultats de celles-ci puisqu'elle supplée à leurs insuffisances. Apportant une image fidèle d'une couche de coupe très fine et permettant diverses mesures sans risques d'erreur, elle mérite d'occuper une place de tout premier ordre parmi les méthodes radiologiques d'examen du cœur et des gros vaisseaux.

Chapitre IV

INCONVÉNIENTS DE LA MÉTHODE

Malgré tout, la méthode a quelques inconvénients. C'est ainsi que la rotation du sujet est susceptible, surtout lorsque la rotation s'effectue à la vitesse la plus grande (un tour en 1 sec. 8), d'entraîner des vertiges. Chez le sujet valide tournant sur lui-même en 3 sec. 4 le vertige est exceptionnel : nous n'en avons observé qu'un cas.

En revanche, lorsqu'il s'agit de tomographies des malades fatigués, la rotation est un obstacle à l'examen qui doit être abrégé ou même s'avère impraticable ; cela nous est arrivé plusieurs fois.

C'est un inconvénient propre à notre appareillage, car il existe (appareil de Lacroix) des dispositifs où le sujet reste fixe, les éléments du système mobile étant l'ampoule et le film.

En ce cas, l'appareillage est encombrant : l'appareil de Lacroix, comme nous l'avons dit, balaye 9 mètres carrés.

Quel que soit le dispositif utilisé, le sujet doit garder l'apnée durant le temps de pose. Nous avons adopté l'apnée inspiratoire ; celle-ci est généralement obtenue facilement, même chez le jeune enfant. Mais chez certains malades très dyspnéiques, elle est plus ou moins bien gardée.

La durée du temps de pose doit être très exactement celle de la rotation ; c'est pourquoi il est bon de vérifier les vitesses de rotation et de contrôler la minuterie. L'absence d'égalité entre ces deux temps se traduit par un défaut d'homogénéité.

A ce sujet, notons qu'il est bon de prendre le cliché quelques instants après le début de rotation, celui-ci étant toujours plus ou moins brusque et saccadé.

A côté de ces inconvénients, il en est un autre provisoire, dont l'importance ne cesse de décroître. Il s'agit de la difficulté d'interprétation des coupes horizontales. Nous les examinons dans le sens où sont présentées habituellement les images radiographiques : vertèbres en arrière, plan antérieur en avant ; à gauche : l'hémithorax droit ; à droite : l'hémithorax gauche, comme si le sujet était en place derrière l'écran.

L'interprétation des clichés réclame certaines conditions : d'abord, il est nécessaire de connaître le niveau de la coupe, ce qui est facile ; nous avons vu qu'il existe plusieurs procédés de repérage des niveaux de coupe. Le niveau connu, il faut connaître l'anatomie de ce plan, en se référant, le cas échéant, aux figures des livres d'anatomie.

A ce sujet, il est nécessaire que se multiplient les confrontations anatomo-tomographiques, comme l'ont déjà fait certains instituts de radiologie (Université de Gênes et École Toulousaine), de façon à pouvoir donner une interprétation rigoureuse, précise et complète des clichés, sur lesquels la signification anatomique de chaque ombre doit être établie. Il est encore indispensable d'avoir, comme pour toute interprétation de radiographie analytique, le cliché standard.

L'interprétation des coupes horizontales et des gros vaisseaux de la base reste cependant ardue, car il existe des variations dans les images, suivant l'état respiratoire, l'état circulatoire, l'âge, chez le même sujet, venant s'ajouter aux variations, selon les individus. Par ailleurs, il arrive que l'on observe des images parasites ; certaines peuvent être éliminées, c'est le cas des images de sillage, dues aux tiges métalliques formant dossier et des images stationnaires observées seulement en cas de relâchement ou de mauvaise situation des courroies de transmission, traduisant un asynchronisme entre les mouvements sujet - film.

D'autres sont dues à l'effacement d'éléments osseux adjacents au plan de coupe.

C'est ainsi que l'on note parfois des *images arciformes*, à extrémité proximale au contact de l'image de coupe, à extrémité distale effilée, dues aux projections costales. Suivant la position des éléments osseux, la traînée d'effacement apparaîtra ou non en partie sur le cliché.

Chapitre V

APPLICATIONS DE LA TOMOGRAPHIE AXIALE TRANSVERSALE EN CARDIOLOGIE : VOLUME DU CŒUR

Démonstration de la possibilité théorique de calculer le volume cardiaque

Nous avons vu que les images des coupes horizontales ne sont pas déformées et superposables à celles des sections elles-mêmes d'un objet considéré, compte tenu du rapport d'agrandissement : A = 1,4.

La surface réelle d'un segment de corps quelconque dont on a la projection sur une coupe est facilement connue :

$$S \text{ (surface réelle)} = \frac{S'}{1{,}96}$$

S' (surface de l'image de coupe) — 1,96 = A^2 (coefficient d'agrandissement des surfaces).

Si donc la hauteur du corps considéré était connue, son volume pourrait l'être. Cette hauteur est comprise entre deux points extrêmes X et Y qu'il convient de marquer d'un repère. Elle est égale à la somme des distances séparant chaque coupe. Il convient donc d'avoir une coupe la plus près possible du repère initial, ou passant par lui, et une autre coupe intéressant le repère terminal ou très voisine de lui. Ainsi, la hauteur d'un objet quelconque pourra être connue de façon très précise.

Nous avons, à cet effet, fixé sur le volant servant au réglage de la hauteur du plan de coupe, un disque subdivisé en quatre quadrants, comme celui-ci ; mais chaque quadrant est lui-même subdivisé en dix segments égaux ; ainsi la circonférence est divisée en quarante arcs égaux de 9° chacun.

Le passage d'une division, indiqué par un repère, à la suivante, fait donc varier le plan de coupe de :

$$\frac{2{,}5 \text{ millimètres}}{10}$$

Dans ces conditions, le calcul de la hauteur d'un corps quelconque est facile et précis, la hauteur étant connue à moins d'un millimètre près.

Sur le plan clinique, il est plus simple et plus rapide de procéder à une mesure de la hauteur en scopie ou, le cas échéant, par téléradiographie.

Nous avons recherché par la tomographie axiale le volume d'un prisme en duralumin dont les dimensions mesurées directement étaient :

$h = 2$ centimètres ;

Surface de base $= 3 \times 3 = 9$ centimètres carrés ;

Soit : $V = 18$ cc.

Nous avons mesuré la hauteur de ce prisme en scopie (ampoule à 2 m. 50) et par téléradiographie : on a $h \# 2$ centimètres. Nous avons ensuite calculé le volume par tomographie axiale.

Nous avons fait une première coupe sus-jacente au prisme — et donc négative. Une seconde effectuée à 1 millimètre plus bas est encore négative. Les indications fournies par l'alidade, relatives à la hauteur de coupe, ne sont donc pas très précises. Une troisième coupe, à 1 millimètres au-dessous de la précédente, donne une coupe du prisme ayant 42 millimètres de côté.

Dans ces conditions, la surface de la coupe est de 17,64 cm^2.

Une quatrième coupe, faite à 0,5 millimètre au-dessus de la troisième, est négative.

Nous considérons que la troisième est la coupe supérieure.

Une cinquième coupe est faite à 1 centimètre plus bas, donnant exactement la même image que la troisième.

Une sixième coupe, faite à 1 centimètre de la précédente est négative.

On fait donc une septième coupe à 75/100 de millimètre (3 divisions du disque) plus haut ; elle est positive et montre une surface de coupe identique aux deux premières.

La hauteur du prisme est donc égale à la distance entre les coupes 3 et 5 = 1 cm., plus la distance entre les coupes 5 et 7 = 0 cm. 93, soit 19 mm. 3. Soit un calcul de la hauteur de l'objet à 3,5 % près.

La hauteur est comprise entre 19 mm. 3 et 19 mm. 9, car on a pu commettre une erreur de 3/10 de millimètre pour l'étalonnage des deux coupes extrêmes.

Nous prendrons une valeur moyenne : $h = 19{,}7$.

Les surfaces de coupe sont identiques les unes aux autres ; on peut donc choisir pour surface de base, soit la coupe supérieure, soit l'inférieure.

Les dimensions des côtés du prisme étaient de 3 centimètres ; la surface de base était donc de 9 centimètres carrés. Nous trouvons sur les coupes : 4 cm. 2 pour les côtés, soit 17 cm. 64 pour la surface de base.

Ces chiffres sont très intéressants, car ils permettent de vérifier expérimentalement la justesse du calcul du coefficient d'agrandissement.

$$A = 1{,}4 : \frac{4{,}2}{1{,}4} = 3 \text{ centimètres,}$$

dimensions réelles des côtés du prismes, et donc $A^2 = 1{,}96$: $9\ cm^2 \times 1{,}96 = 17\ cm^2\ 64$.

On trouve donc pour volume : $V = 9\ cm^2 \times 1$ cm. 97 = 17 cc. 73.

Ce volume est compris entre : 17,37 cc. et 17,92 cc.

Or, il est impossible, dans l'évaluation de la hauteur, de commettre une erreur par excès, tandis que l'on peut pécher par défaut.

Il convient donc de prendre pour volume définitif un chiffre intermédiaire entre le chiffre moyen et le chiffre maximum.

Par exemple, nous adoptons : V = 17,85 cc.

Dans ces conditions, ce chiffre est exact à 0,75 % près.

Ceci permet de conclure que la détermination du volume cardiaque par la tomographie axiale doit être possible.

Du seul point de vue technique, deux points importants sont d'ores et déjà à souligner :

— La mesure soigneuse de la hauteur cardiaque en scopie, ou recherchée sur des téléradiographies ;

— L'étalonnage des coupes, qui doit être rigoureux.

De ces deux éléments dépend la justesse du résultat.

Dans la première expérience démontrant la possibilité d'obtenir un volume par la tomographie axiale, nous avions considéré un solide de forme géométrique où il existe une formule établie, donnant le volume : $V = h \times S$.

Dans une deuxième expérience, nous avons voulu rechercher par la même méthode le volume d'un bloc de mastic, sans forme définie, assimilable en gros à un cylindre, aplati à des degrés variables, suivant la hauteur.

Au cours du modelage du bloc, on avait incorporé de la gélobarine pour le rendre très opaque.

Ce bloc mesurait (mesure directe) 5 cm. 8 de hauteur ; nous avons fait dix coupes, dont sept seulement portent une image.

La première, passant au-dessus du repère supérieur, est négative.

La seconde était au-dessous de lui.

Il apparaît sur la troisième coupe, que nous comptons comme première de la série des sept clichés du bloc de mastic.

La seconde coupe a été éliminée par raisons des commodités ; elle était effectuée à 0 cm. 25 au-dessous de la troisième.

Ces coupes ont été effectuées de centimètre en centimètre, à l'exception de la dernière faite à 0 cm. 5 de la précédente.

Une dixième coupe fut effectuée à 0 cm. 25, pour vérifier l'étalonnage, et fut négative.

La hauteur du bloc de mastic, calculée d'après le nombre et la distance des coupes, est de : 5 cm. 50.

Par planimétrie, nous avons calculé les surfaces respectives des différentes images de coupe.

La première a pour S « 41 cm.^{2} 1 ; on trouve ensuite 131 cm^2 4 — pour la coupe n^o 2 marquée d'un repère — 160 cm^2 7, 195 cm^2, 173 cm^2 1, 209 cm^2, 209 cm^2.

Soit une surface totale de 1.119 cm^2 3.

Le volume obtenu en appliquant la formule :

$$V = \frac{S}{1{,}96} \times h$$

pour chaque tranche, est de 517 cc.

Le volume réel du bloc de mastic, calculé par déplacement d'eau dans un cristallisoir gradué, est de 501 cc.

La mesure est donc exacte à 3 % près.

Avant d'appliquer la méthode chez le sujet normal, nous avons voulu expérimenter sur un cœur de veau isolé.

Nous avons mesuré son volume, en le plongeant dans un cristallisoir. Le volume obtenu était : V = 468 cc.

Le cœur fut monté sur un support en carton, bien fixé, un fil passé dans l'aorte et amarré sur les tiges servant de prise pour les mains assurait une certaine tension, de façon à éviter l'étalement au cours de l'expérience.

La première coupe devait intéresser le fil de plomb serré à la base du pédicule, repère qui avait servi lors de la mesure volumétrique par déplacement d'eau.

La dernière devait intéresser la pointe.

Après trois coupes inutilisables pour le calcul du volume (trop hautes ou trop basses), nous avons retenu, pour coupe initiale, la quatrième, intéressant le repère, plaqué contre la face supérieure des oreillettes.

A partir de celle-ci nous avons fait douze coupes, rigoureusement échelonnées de centimètre en centimètre, du repère à l'extrémité de la pointe, la hauteur mesurée directement était de 12 cm. 7.

Par planimétrie, on obtient les surfaces suivantes (en cm^2) :

87	118	61
113,75	108	44
156,7	94	25
133	77,2	6
		2,3

Les coupes ayant été effectuées tous les centimètres, et l'écart entre la première et la dernière étant considérable, nous calculons les surfaces moyennes.

Ainsi, nous comptons pour surface de la première tranche de section :

$$S = \frac{87 + 113}{2} = 100 \text{ cm}^2$$

Cela nous permet d'assimiler chaque tranche à un segment de cylindre et de diminuer les causes d'erreur, ce qu'on a en plus dans un segment se perdant dans le segment suivant. On arrive ainsi à une surface globale de 936 cm^2, somme des surfaces moyennes de chaque tranche de section ayant un centimètre de hauteur.

Plutôt que de calculer isolément le volume de chaque tranche de section, il est plus rapide de mesurer la surface globale, d'en déduire la surface réelle :

$$\frac{S}{1,96} = 477 \text{ cm}^2$$

Cette surface est la somme des surfaces des tranches ayant chacune un centimètre de hauteur, d'ou : V = 477 cc. Soit un résultat exact à 2 % près.

Nous avons répété cette expérience après avoir fait augmenter légèrement le volume du cœur par injection de 100 cc. de liquide baryté, par voie trans-myocardique. Sa forme est devenue plus globuleuse et son volume est passé à 486 cc.

Douze coupes, effectuées de centimètre en centimètre, ont donné les résultats suivants (en cm^2) :

56 : pour la première intéressant le repère ; 114,2 ; 170 ; 85 ; 163 ; 141 ; 126 ; 89 ; 75 ; 35 ; 14,4 ; 9,3 ; 4.

Soit une surface globale de 992 cm^2, et donc une surface réelle de 506 cm^2.

Le volume est donc : V = 506 cc.

Si l'on prend les surfaces moyennes, on trouve : V

$$S \text{ (surface réelle)} \frac{969}{1,96} = 493$$

d'où V = 493 cc.. Soit résultat exact à 1 % environ.

Nous avons repris cette expérience, après avoir soumis le cœur à la congélation. Une injection trans-myocardique de 120 cc. de liquide baryté fut pratiquée. Dans ces conditions, la forme du cœur était modifiée par rapport à sa forme antérieure et son volume, mesuré par déplacement d'eau, était de 520 cc. Sa hauteur était légèrement augmentée et nous avons dû effectuer quatorze coupes.

La première coupe de cœur, immédiatement sous-jacente à celles intéressant le pédicule, traduit la grosse dilatation auriculaire : sa surface est de 116 cm^2. Les autres surfaces de coupe sont les suivantes : 142 ; 150 ; 139 ; 124,5 ; 12 ; 95 ; 79,5 ; 36,9 ; 35,3 ; 17,2 ; 14 cm^2.

Soit une surface globale moyenne de 1.040 cm^2.

Ce qui donne pour somme des surfaces réelles : 530 cm^2, et donc V = 530 cc. Soit un résultat exact à 5 % près.

On peut donc, d'une façon simple et rapide, calculer le volume du cœur.

Au début, nous avions essayé d'appliquer diverses formules de calcul ; nous avions retenu celle de segment de tronc de cône.

Les calculs sont beaucoup plus longs et il nous a paru plus logique de considérer chaque tranche de coupe comme un segment de cylindre ; c'est dans ce cas, et les expériences le montrent bien, que les causes d'erreur sont les plus petites.

On arrive à avoir des résultats que l'on peut considérer comme justes. Les chiffres trouvés sont exacts de 1 % à 5 % près.

La tomographie axiale transversale du cœur en rendant possible le calcul de son volume, fait faire à la cardiologie un nouveau et important progrès dont l'intérêt est tant d'ordre diagnostique que pronostique.

Chapitre VI

RECHERCHES DU VOLUME CARDIAQUE CHEZ L'HOMME

Nous avons vu que la tomographie axiale transversale permet d'obtenir, à partir des surfaces de coupes, le volume du cœur.

Sur un cœur isolé, les tomographies, sous diverses incidences, permettraient également de calculer (les calculs sont plus complexes) le volume de celui-ci. C'est que, dans ces conditions, du fait du fort contraste existant, les contours des coupes sont suffisamment nets pour que l'on puisse procéder à un relevé des surfaces.

Malheureusement, il n'en est plus de même chez le vivant où le flou des bords du cœur lié à la méthode elle-même, et aussi à la révolution cardiaque, rend impossible la détermination précise des surfaces, et par conséquent leur mesure.

Nous avons vu aussi que les coupes obtenues sont épaisses et que des déformations peuvent venir fausser les mesures.

Les méthodes stratigraphiques classiques ne sont pas faites pour fournir des éléments quantitatifs.

Avant de rechercher, à partir des coupes horizontales, le volume cardiaque, nous avons consulté divers ouvrages d'anatomie, espérant y trouver des éléments intéressants.

Le volume du cœur ne semble pas avoir beaucoup retenu leur attention. Rouvière ne l'indique pas, de même Grégoire et Oberlin ; Testut, Poirier et Hovelacque donnent quelques chiffres d'intérêt secondaire.

C'est ainsi que TESTUT estime la capacité cardiaque de 513 à 757 centimètres cubes. Il donne des éléments pour calculer le volume global en assimilant le cœur à une pyramide. A vrai dire, les résultats que l'on aurait pu trouver n'auraient eu qu'une valeur toute relative, puisque les volumes auraient été calculés sur des cœurs formolés, aux cavités plus ou moins collabées.

Cependant, à titre indicatif, nous avons calculé le volume du cœur de deux cadavres formolés, après injection de l'oreillette gauche pour le premier, des cavités gauches pour le second. Ce dernier présentait une cardiomégalie notable, visible d'emblée lors de la sternotomie, pour ligatures des vaisseaux de la base (nécessaire pour éviter les fuites du liquide d'opacification).

Dans le premier cas, le volume obtenu à partir des coupes horizontales était de 790 cc. ; dans le second cas, de 1.240 cc.

Nous avons ensuite contrôlé ces deux résultats. Les volumes obtenus par la méthode de déplacement d'eau ont été respectivement :

— Pour le premier : V = 815 cc., soit 2,3 % d'erreur ;

— Pour le second : V = 1.215 cc., soit 1,4 % d'erreur.

Mais ces chiffres n'ont aucune valeur pratique, à notre sens, puisque les cœurs examinés ont été formolés et partiellement injectés par une substance de contraste. Nous les avons recherché que pour avoir un ordre d'idée du volume après avoir terminé l'étude des cavités opacifiées vues en coupe horizontale.

Avant de rechercher le volume du cœur d'un sujet normal ou d'un sujet malade, il est bon de préciser certains points :

1° Tout d'abord, comme d'ailleurs avant tout examen cardio-vasculaire par la tomographie axiale, il est essentiel d'observer le sujet en scopie. Au cours de cet examen, on marquera sur la peau, au crayon dermographique, certains repères importants : sommet de la crosse aortique, les points G et D, le diaphragme en position inspiratoire, et on dessinera la silhouette cardiaque.

On peut coller des fragments de plomb sur les différents repères et effectuer une téléradiographie sur laquelle on retrouvera les repères marqués.

Par ailleurs, le sujet étant en place sur le radiotome, à partir du point de départ des coupes, on marquera sur la peau, au crayon dermographique, des traits de centimètre en centimètre, jusqu'au repère terminal.

Le faisceau du centreur lumineux permet de voir si les changements de plan de coupe s'effectuent correctement, et cette vérification est facilitée par le fait qu'il est utile de diaphragmer au maximum, afin d'avoir des images nettes.

L'étalonnage des coupes est, on l'a vu, une condition essentielle, de laquelle dépend l'exactitude du résultat.

2° Il sera bon d attendre, avant de prendre le cliché, que le sujet, bien fixé sur le siège, tourne à une vitesse constante ; il faut compter avec une certaine inertie au départ de la rotation.

Au cours de la prise du cliché, celui-ci doit garder l'apnée. Nous avons adopté l'apnée inspiratoire. Elle est en général bien gardée, sauf peut-être par les jeunes enfants, pour lesquels on peut employer une vitesse de rotation plus grande.

On obtient donc un volume inspiratoire, et donc légèrement supérieur au volume expiratoire.

3° **C'EST UN VOLUME INSPIRATOIRE MOYEN.-** Le temps de pose est en effet de 3 secondes 8 (temps que nous utilisons le plus souvent). Il y a ainsi 4 à 5 révolutions cardiaques au cours de la prise d'un cliché, celles-ci ayant une durée de 8/10 de seconde chacune.

Ceci a une première conséquence. Les contours cardiaques seront nets. Et une deuxième : la surface obtenue sera la surface moyenne du cœur ; en effet, la révolution cardiaque comprend une phase systolique de 1/10 de seconde pour l'oreillette et de 3/10 de seconde pour le ventricule ; la phase diastolique est de 4/10 de seconde.

Le volume cardiaque, calculé par la tomographie axiale transversale, est donc une volume inspiratoire moyen.

Nous prenons pour repère la bifurcation trachéale, à n centimètre au-dessous d'elle, on doit arriver sur la face supérieure des oreillettes et le point G ; à 1 cm. 5, 2 centimètres au-dessus de lui, on trouve la face supérieure des oreillettes et le diaphragme.

Nous avons étudié les volumes cardiaques de plusieurs sujets présumés indemnes de toute affection cardio-vasculaire :

Cas n° 1. — M. G... Après repérage en scopie des points G et D et du diaphragme en position inspiratoire, nous avons fait une téléradiographie, puis une série de coupes horizontales, dont la première est à 4 centimètres au-dessus du point G.

La bifurcation trachéale, qui nous sert de repère chez le sujet normal, puisqu'elle surplombe la face supérieure des oreillettes, n'est pas encore faite.

On note la coupe de la crosse aortique et des vaisseaux pulmonaires.

La coupe suivante intéresse la bifurcation trachéale. Les deux bronches souches ne sont pas encore vraiment séparées.

La coupe suivante montre l'opacité cardiaque, séparée des plans postérieurs par un espace rétro-cardiaque clair.

Latéralement : les artères pulmonaires droites et gauches.

Nous avons fait onze coupes, à partir de la seconde.

La somme des surfaces moyennes est de 707 cm^2.

D'où volume du cœur = 707 cc.

Cas n° 2. — M. P... (48 ans), traité dans le service pour tumeur de la trachée décelée par tomographies.

Notons, à ce sujet, que la tumeur, vue sur les tomographies frontales, apparaissait très nettement sur les coupes horizontales, qui ainsi la situaient en hauteur, indiquaient son importance et surtout la montraient pédiculée, saillante dans la lumière trachéale, déformée, rattachée à la paroi postérieure et latérale gauche de la trachée par un pédicule.

A l'occasion de cet examen, nous avons effectué une série de coupes transversales du cœur et des gros vaisseaux.

L'examen scopique objective un gros cœur chez un sujet obèse et bréviligne ; son aorte est assez déroulée. La téléradiographie confirme ces données. On note enfin une opacité de la base droite, venant se confondre avec celle du cœur droit, celle-ci pouvant être

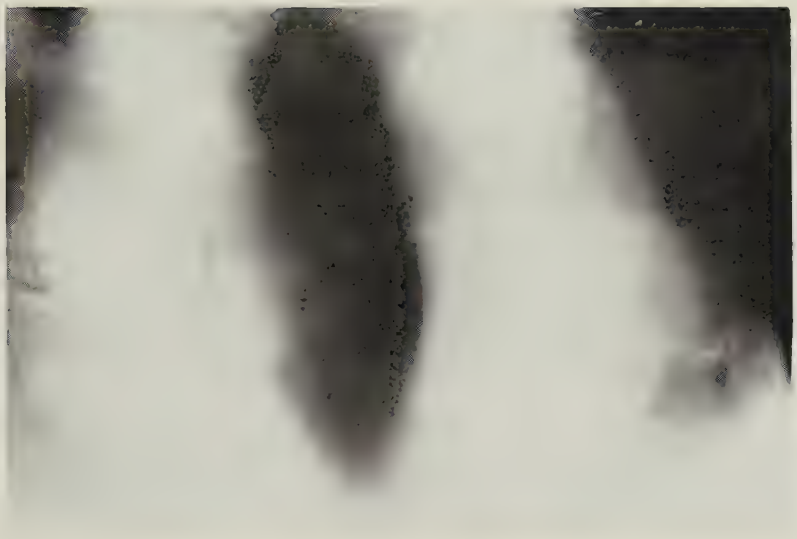

Planche n° 1 — Aorte.

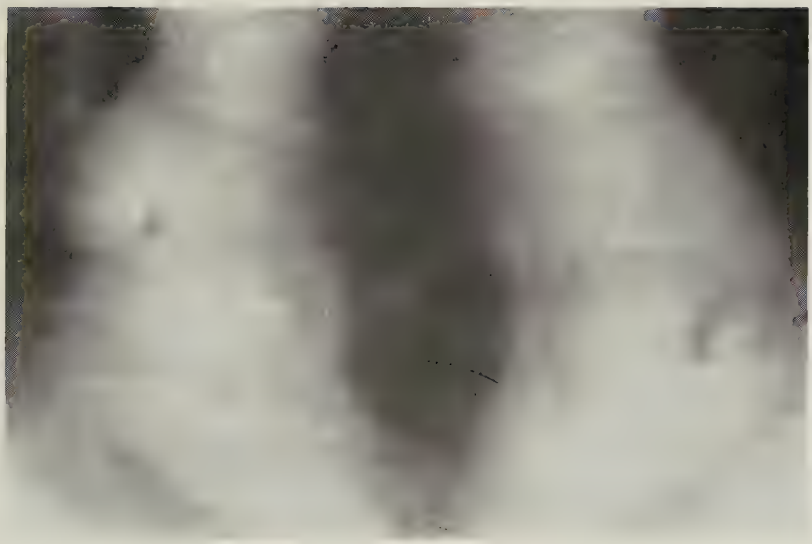

Planche n° 2. — Bifurcation trachéale.

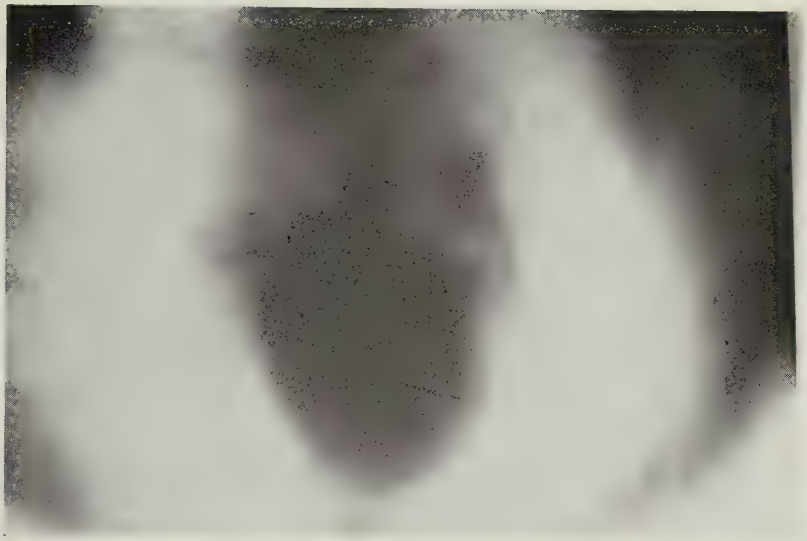

Planche n° 3. — Coupe de cœur.

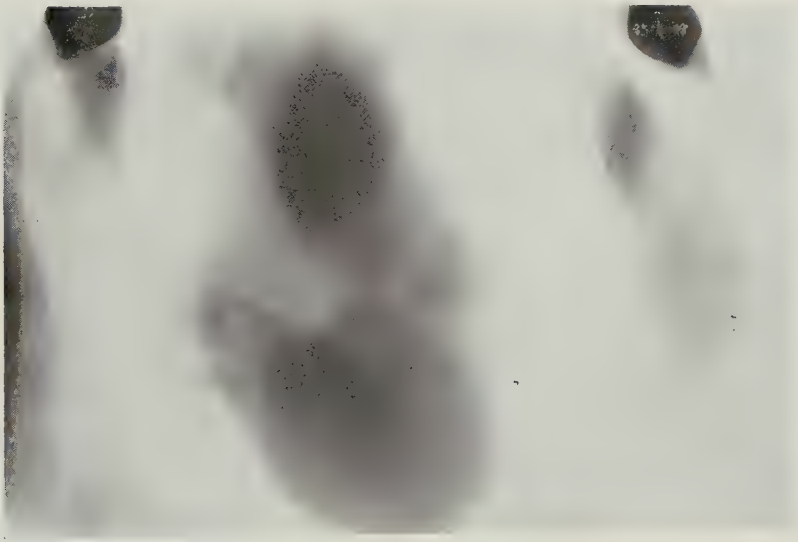

Planche n° 4. — Coupe de cœur normal.

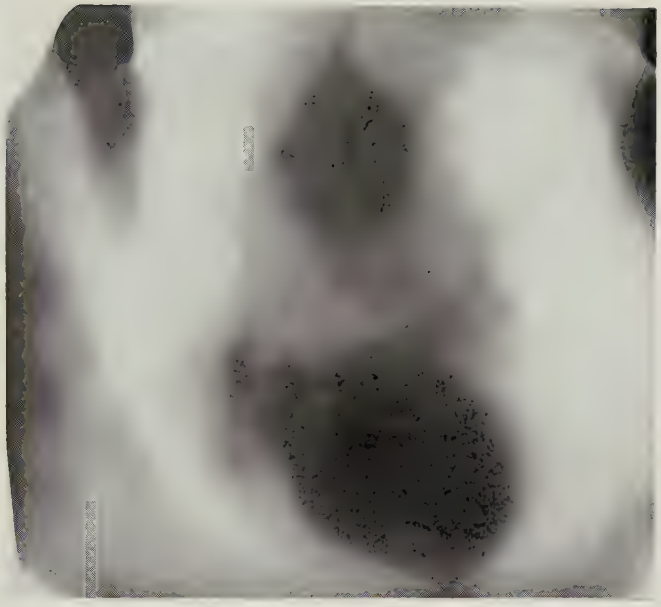

Planche n° 5. — Pédicule pulmonaire.

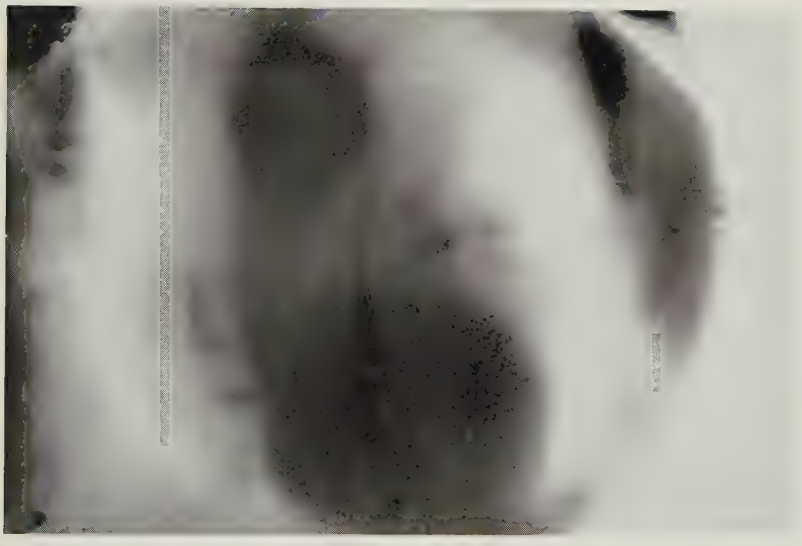

Planche n° 6. — Cœur normal. Espace rétro-cardiaque clair.

interprétée comme une métastase pulmonaire, et le contexte clinique semble l'indiquer, soit comme un diverticule péricardique.

Nous avons fait la première coupe à un centimètre de l'extrémité sternale de la clavicule.

La première coupe intéresse la trachée, dans sa portion sous-tumorale ; l'aorte est bien visible, son calibre juxta-trachéal = 27 millimètres.

Les coupes suivantes intéressent encore la trachée thoracique et l'aorte.

La coupe 5 passe par la bifurcation trachéale ; devant celle-ci, le paquet vasculaire pré-trachéal.

La coupe suivante montre l'origine des deux bronches souches ; l'aorte est toujours bien visible, nettement à gauche de la ligne médiane ; la bronche gauche est plus grêle que la droite et légèrement plus postérieure.

La coupe suivante intéresse la partie supérieure du cœur.

Les coupes suivantes intéressent le cœur.

La douzième coupe rase l'extrémité supérieure de la métastase pulmonaire ; sa surface est de 221 cm^2.

La coupe suivante l'intéresse et montre que cette opacité est très antérieure : l'ensemble a une surface de 252 cm^2. Une coupe faite un centimètre plus bas intéresse encore cette opacité.

La seizième coupe amène sur le diaphragme.

La somme globale de ces coupes, en prenant les surfaces moyennes, est : S = 2.140 cm^2, soit 1.142 cm^2 de surface réelle.

Soit un volume de 1.142 cc., dont 56 cc. appartiennent à l'opacité latéro-cardiaque.

V = 1.086 cc.

Cas N° 3. — Sur les radiographies standard de M. C..., on notait l'existence de calcifications, de siège vraisemblablement péricardique. C'est pour affirmer le siège de ces traînées calcaires que nous avons fait des tomographies transversales à ce malade, qui montraient le siège périphérique de ces calcifications diffuses, réparties sur les bords gauche et droit du cœur.

Les coupes supérieures intéressent le paquet vasculaire pré-trachéal.

L'aorte apparaît sur la cinquième coupe et son calibre juxta-trachéal est de 20 millimètres.

A partir des dix coupes intéressant le cœur, nous avons calculé son volume.

Les surfaces de coupe sont respectivement : 84 ; 132 ; 144 ; 194,5 ; 197 ; 202,1 ; 221,20 ; 219,75 ; 242,85 ; 237,45.

Soit, somme des surfaces moyennes : 1.718 cm^2, et donc 876 cm^2 de surface réelle.

V = 876 cc.

Cas n° 4. — Nous avons étudié le volume du cœur d'un malade ayant subi une thoracotomie et collapsus du poumon (sommet droit) par billes de Lucitte, pour lequel on nous avait demandé des tomographies des deux plages pulmonaires.

Les coupes objectivent bien les billes, séparées les unes des autres par des lames liquidiennes.

Nous avons trouvé une surface moyenne totale des dix coupes intéressant le cœur égale à 1.115 cm^2 24, soit : surface réelle = 569 cm^2 et V = 569 cc.

Cas n° 5. — Nous avons recherché le volume du cœur chez un malade présentant une malformation auriculaire gauche, sans cardiomégalie apparente sur les clichés standard.

Les coupes horizontales ont confirmé l'absence de cardiomégalie, et l'aspect anormal de l'oreillette gauche, s'enfonçant très loin en arrière, comblant l'espace rétro-cardiaque dans sa portion gauche.

Nous avons trouvé, pour somme des surfaces moyennes réelles : 682 cm^2.

Le volume V = 682 cc.

Pour ces cinq cas, les coupes étaient très nettes, bien étalonnées.

Nous avons fait neuf autres mesures du volume cardiaque, mais les coupes sont moins bonnes, soit qu il y ait des images parasites gênantes, soit que le sujet ait mal gardé l'apnée, soit que sur une coupe ou deux l'image cardiaque soit moins nette, son opacité plus ou moins confondue avec le sternum en avant, plus ou moins bien délimitée en arrière.

Nous avons cependant fait les calculs du volume à titre d'indication.

Nous avons trouvé : 642 cc. ; 678 cc. ; 725 cc. ; 759 cc. ; 816 cc. ; 903 cc. ; 981 cc. ; 1.017 cc. et 1.069 cc.

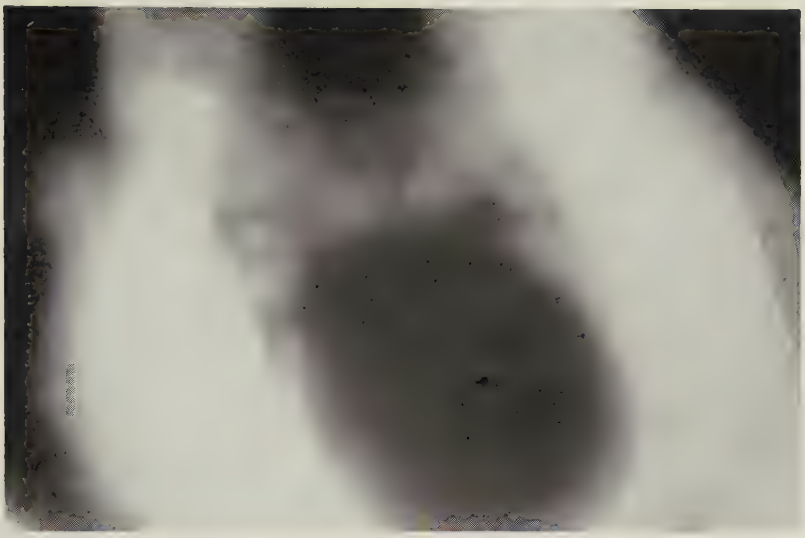

Planche n° 7. — Coupe de cœur (gros cœur).

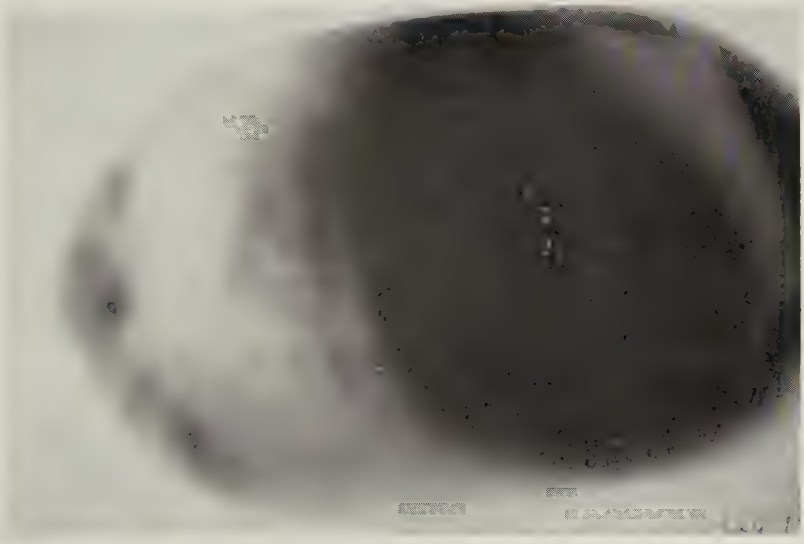

Planche n° 8. — « Cœur congénital ».

Nous pouvons donc admettre que chez l'adulte normal le VOLUME CARDIAQUE MOYEN INSPIRATOIRE est compris entre 650 et 1.000 centimètres cubes.

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DU CŒUR SUR LES COUPES HORIZONTALES

Outre la possibilité de calculer le volume du cœur à partir des coupes tomographiques horizontales, celles-ci permettent de définir très exactement la situation du cœur dans le médiastin. On peut ainsi déceler sans difficulté une hyperthrophie totale ou segmentaire, une déviation. La majeure partie du cœur se situe dans le quadrant antéro-gauche des coupes. Il est facile de connaître si le cœur est plaqué ou non contre la paroi sterno-costale. Il est aisé d'explorer l'espace rétro-cardiaque. Les coupes ci-jointes, effectuées à un centimètre de distance, montrent bien l'intérêt de la méthode.

On voit en arrière de la vertèbre, latéralement, les champs pulmonaires, limités en dehors par la paroi thoracique.

En avant, le myocarde, séparé du plan vertébral par un espace clair ; sur ces coupes, les éléments du hile, avec, notamment, les vaisseaux pulmonaires bien objectivés.

Voici, à titre d'exemple, une image de gros cœur. On voit que le parenchyme pulmonaire gauche est très réduit et que le cœur est refoulé à gauche.

La simple lecture de ces quelques clichés permet de comprendre que l'étude des rapports du cœur avec les organes de voisinage est très aisée.

Nous avons décelé sur des coupes horizontales, en étudiant des « cœurs congénitaux », des hypertrophies non apparentes sur le cliché de face et qui semblaient modérées en obliques et en transverses.

Ainsi, nous avons noté une hypertrophie de l'oreillette gauche et des veines pulmonaires, peu apparente sur les

diverses radiographies ; on voit l'opacité de l'oreillette gauche aller très loin en arrière, atteignant le plan passant par le tiers antérieur du corps vertébral.

Dans l'étude des cardiopathies congénitales, les coupes horizontales sont extrêmement intéressantes et la confrontation des données tomographiques, électro-cardiographiques et du cathétérisme devrait permettre sous peu de trancher des problèmes diagnostiques délicats.

Nous avons calculé le volume du cœur de trois enfants, présentant une cardiopathie congénitale. Nous trouvons :

— Pour le premier enfant F... : V = 617 cc.

— Pour le second enfant R... : V = 643 cc.

— Pour le troisième enfant A... : V = 759 cc.

Les deux premiers sont âgés de moins de 10 ans, le troisième a 14 ans.

Afin de mieux comprendre les coupes, nous avons, sur le cadavre, injecté l'oreillette gauche, puis le ventricule gauche et le ventricule droit.

Celle-ci se projette, à la partie supérieure de l'opacité cardiaque, sur la ligne médiane, selon le schéma suivant :

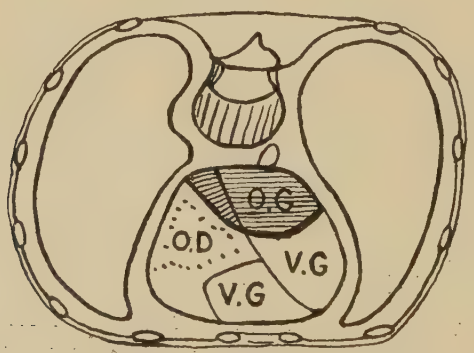

Figure 6

Le ventricule gauche est antérieur et dans le même alignement.

La portion antérieure et droite est occupée par le ventricule droit ; le segment suivant représente donc l'oreillette droite. Ceci dans le cas d'une coupe passant en plein myocarde.

Il y a concordance avec les notions anatomiques.

Nous avons pu, grâce aux coupes horizontales, localiser un corps étranger (éclat de bombe) inclus dans l'oreillette droite. Ce diagnostic de localisation ne pouvait être fait sur les clichés standard. Il aurait fallu un examen radio-kymographique.

L'indice de développement du ventricule gauche est facile à apprécier sur les coupes horizontales.

Chapitre VII

ÉTUDE DES GROS VAISSEAUX, PAR LES COUPES HORIZONTALES

Depuis le jour où Karol Mayer, en 1916, fit les premières tomographies de l'aorte, l'étude radiologique des gros vaisseaux de la base a considérablement progressé.

C'est que depuis l'essor de la chirurgie cardio-vasculaire, l'exploration de ceux-ci revêt une importance très grande.

La tomographie axiale transversale vient compléter heureusement les renseignements fournis par les divers examens radiologiques.

Scott et Lionberger, Scott et Russel, et surtout Sanquirico, ont étudié l'aorte normale ou pathologique.

Les coupes horizontales sont très instructives ; elles permettent de mesurer les différents aspects de la crosse, de suivre, coupe par coupe (et on peut les faire très rapprochées : de 0 mm. 5 en 0 mm. 5), son évolution morphologique, ses rapports.

Pour apprécier le déroulement et le calibre, la dissociation des divers segments de la crosse, par les coupes transversales évitant ainsi les superpositions variables selon les sujets, est très intéressante.

Le calibre aortique pré-trachéal nous a paru varier entre 19 et 29 millimètres.

Dans un cas de néo du poumon gauche, qui devait être opéré, nous avons signalé au chirurgien l'absence d'adhérences à l'aorte et l'existence d'un couloir de clivage entre la tumeur et l'aorte.

Nous avons eu l'occasion d'étudier un anévrisme profond et volumineux de la crosse aortique, à symptomatologie relativement discrète.

Le diagnostic était évident dès la scopie, où l'on notait l'énorme élargissement du pédicule artériel, étendu en hauteur, de la clavicule à l'extrémité de la quatrième côte.

Sur la première coupe horizontale, on observe une opacité latéro-vertébrale gauche, sommet de l'anévrisme.

Cette opacité se retrouve, mais plus étendue, sur la coupe suivante ; elle refoule à gauche le sommet pulmonaire.

La coupe suivante montre une image analogue, tandis que la quatrième coupe montre une réduction du parenchyme pulmonaire gauche, dont la largeur ne représente même pas la moitié de celui de droite.

L'opacité est étendue d'avant en arrière et le calibre de l'aorte médio-thoracique (rétro-trachéale) est de 56 mm.

Plus bas, on trouve un calibre de 59 mm. et des signes d'érosion vertébrale, que les radiographies permettaient seulement de soupçonner. Le calibre maximum est de 63 mm.

Puis, la dilatation anévrismale diminue d'importance, et sur la dixième coupe terminale, le calibre maximum n'est plus que de 37 mm.

Ainsi, la tomographie axiale a permis d'établir qu'il s'agissait d'un anévrisme fusiforme, étendu sur 7 cm. 5 de hauteur, intéressant essentiellement la portion horizontale de l'aorte. Le sommet de l'anévrisme est au niveau de la base du cou et donc au-dessus du plan du manubrium sternal.

L'artère pulmonaire est bien objectivée par les coupes horizontales et l'aspect, la situation, le calibre de ses branches est un élément dont l'importance peut être très grande, au point de vue du diagnostic et de la thérapeutique de certaines cardiopathies congénitales.

Les veines pulmonaires apparaissent également sur les coupes, et de leur étude peuvent découler des applications thérapeutiques.

Nous avons noté, chez trois enfants atteints de cardiopathie congénitale, d'énormes veines pulmonaires ; chez un autre, elles sont extrêmement grêles.

La veine cave supérieure et les gros vaisseaux de la base du cou peuvent également être étudiés par cette méthode.

CONCLUSIONS

La tomographie axiale est une méthode radiologique relativement récente permettant d'obtenir des coupes dans un plan perpendiculaire à l'axe vertical du sujet.

L'intérêt de ces coupes, qui sont très fines, est de définir dans un plan horizontal, la situation dans le médiastin du cœur et des gros vaisseaux, leur morphologie, leurs rapports.

Si les coupes sont effectuées à une distance constante les unes des autres, le calcul du volume cardiaque devient possible. C'est là un nouveau progrès en cardiologie, dont l'intérêt est tant d'ordre diagnostic que pronostic. Chez l'adulte normal, le volume cardiaque moyen, en inspiration, calculé par cette méthode, nous a paru varier entre 650 et 1.000 centimètres cubes.

L'exploration de l'espace rétro-cardiaque, bien objectivé par les coupes, est très aisée.

L'étude des gros vaisseaux par la tomographie axiale est aussi très instructive. Les coupes permettent d'étudier avec beaucoup de détails et de précision la crosse de l'aorte, en particulier sa portion horizontale ; la mesure des calibres des divers segments de la crosse aortique est facile.

Les branches de l'artère pulmonaire se détachant de chaque côté de l'opacité cardiaque, ainsi que les veines pulmonaires, peuvent être étudiées sur les coupes horizontales.

La tomographie axiale mérite donc de prendre place parmi les diverses méthodes radiologiques d'examen du cœur et des gros vaisseaux.

SERMENT

En présence des Maîtres de cette Ecole. de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Reconnaissant envers mes Maîtres, je tiendrai leurs enfants et ceux de mes confrères pour des frères, et s'ils devaient apprendre la médecine ou recourir à mes soins, je les instruirai et les soignerai sans salaire ni engagement.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes; si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

Vu :
Le Doyen,
G. PORTMANN

Vu :
Le Président du Jury,
P. BROUSTET

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
Bordeaux, le 10 Décembre 1952.

Le Recteur,
E. DELAGE

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations :

J. R. E. = *Journal de radiologie et d'électrologie.*
La radiol. med. = *La radiologia medica.*
Minerv. med. = *Minerva medica.*
L'Inform. med. = *L'Informatore medico.*
J. méd. chir. thor. = *Journal de médecine et chirurgie thoracique.*

1. Kieffer et Moore. — « The laminagraph and its variations » (*American Journal*, 1938).
2. Watson. — *Radiology London* (5 mai 1939, p. 81 ; 6 septembre 1940, p. 161-172 ; 9 mai 1943, p. 33-38).
3. Didiée. — « Résultats des méthodes radiologiques d'examen « en coupes » de l'organisme » (*J. R. E.*, n° 22, 1938, p. 429-458 ; n° 23, 1939, p. 304-309).
4. Amisano. — « Tomographie du thorax en coupes transversales » (*La radiol. med.*, n° 11, novembre 1946, p. 418-421).
5. Frain et Lacroix. — « Courbe enveloppe et coupes horizontales » (*J. R. E.*, 1947, n^or 3-4, p. 142-143).
6. Frain et Lacroix. — « De l'obtention des coupes horizontales » (*J. R. E.*, 1948, n^or 5-6, p. 256-257 ; *Paris Médical*, 22 février 1947).
7. *La stratigrafia assiale trasversa* (Sambolino, ediz., Genova, 1947).
8. Balestra. — « L'explorazione stratigrafia assiale del mediastino » (*La stratigrafia assiale trasversa*, ediz. Sambolino, 1947, p. 17).
9. Sanquirico. — « La stratigrafia assiale trasversa dell' apparato cardio-vascolare » (*Inform. med.*, vol. II, fasc. 4, 1948, p. 114).

10. Vitale. — « La stratigrafia assiale trasversa del mediastino » (*Inform. med.*, vol. II, fasc. 4, 1948, p. 108).

11. Lacroix. — *Radiotomie homothétique*, thèse Paris, 1948.

12. « Inuaovi orizzonti della stratigrafia nei vari campi della medicina » (*L'inform. med.*, vol. II, fasc. 4, 1948).

13. Amisano. — « Lo stato attuale della tecnica stratigrafia assiale trasversa » (*La radiol. med.*, vol. XXIV, fasc. 2, 1948, p. 43).

14. Frain et Lacroix. — « Effet stratigraphique et coupes horizontales » (*Radiologie médicale*).

15. Gebauer (Erlangen). — *Fortschritte a. der Roentgenstrahlen*, septembre 1949 et janvier 1951.

16. Meyer (R.-R.). — *Radiology*, n° 5, vol. LII, 1949, p. 691.

17. Seloss. — *Tomographie de l'aorte*, thèse Paris, 1949.

18. Facini. — « Stratigraphie et mensuration du calibre aortique » (*Radiol. méd.*, 1949).

19. Vallebona. — « Stratigraphie » (1939) ; « Stratigraphie » (1947) (*J. R. E.*, 1949, nos 5-6, p. 308).

20. Vallebona. — « Stratigraphie axiale au point de vue pratique » (*J. R. E.*, 1950, nos 7-8, p. 460-462).

21. Amisano-Piazza et Oliva. — « Technique de la stratigraphie axiale » (*J. R. E.*, 1950, nos 7-8, p. 459-460).

22. Balestra-Passere et Macarini. — « La stratigraphie axiale dans la pathologie de l'appareil pulmonaire » (*J. R. E.*, 1950, nos 7-8, p. 462-463).

23. Buzzi. — *J. R. E.*, 1950, nos 3-4, p. 146.

24. Sanquirico, Cignolini et Perassi. — « La stratigraphie axiale dans l'étude du médiastin » (*J. R. E.*, nos 7-8, p. 463-464).

25. De Maestri. — « Stratigraphie transversale du thorax en pédiatrie » (*J. R. E.*, 1950, nos 7-8, p. 460-466).

26. Duhamel. — *La tomographie, étude théorique et physique*, thèse Bordeaux, 1950.

27. Frain, Massiot, Lacroix et Chardon. — « Présentation d'un radiotome » (*J. R. E.*, 1950, nos 11-12, p. 689).

28. STEVENSON. — « Horizontal body section radiography » (*British Journal*, 1950, n° 22, p. 319-334).

29. SANSONE et DE MAESTRI. — *Minerva medica*, 27 janvier 1951.

30. DUHAMEL et MARTIN (P.-L.). — « Critique du procédé de Kieffer » (*J. R. E.*, 1951, n^{os} 1-2, p. 113).

31. FRAIN, CHARDON et BOURHIS. — « A propos des images parasites en radiotomie » (*J. R. E.*, 1951, n^{os} 5-6, p. 510).

32. FRAIN, MASSIOT, CHARDON et LACROIX. — *J. R. E.*, 1951, n^{os} 9-10, p. 840-841).

33. PARENT et ROCHE. — « Coupes horizontales du thorax » (*J. méd. chirurg. thorac.*, janvier 1952).

34. GERNEZ-RIEUX et BONTE. — « Tomographie axiale transversale » (*J. méd. chirurg. thorac.*, juillet 1952).

35. WANGERMEZ et GUILLON. — *J. de Médecine de Bordeaux et du Sud-Ouest*, juin 1952.

36. CAROFF et collab. — *J. de méd. et chirurg. thorac.*

37. DE VULPIAN. — *J. R. E.*, 1952, n^{os} 5-6.

38. FRAIN, BROUHET, AELION et BOURRHIS. — *J. E. R.*, 1952, n^{os} 7-8.

39. *Encyclopédie médico-chirurgicale* : « Radio-diagnostic ».

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 11

CHAPITRE PREMIER. — *Intérêt de la tomographie axiale*..... 13

CHAPITRE II. — *La tomographie axiale transversale*..... 17

CHAPITRE III. — *Avantages de la tomographie*..... 27

CHAPITRE IV. — *Inconvénients de la méthode* 33

CHAPITRE V. — *Application de la tomographie* 37

CHAPITRE VI. — *Recherche du volume cardiaque*..... 45

CHAPITRE VII. — *Etude des gros vaisseaux par les coupes horizontales* 55

CONCLUSIONS 59

BIBLIOGRAPHIE 61

Imprimerie René SAMIE, 21-23, Rue Teulère. Bordeaux. - Dépôt légal n° 15.399. 4e Trimestre 1952